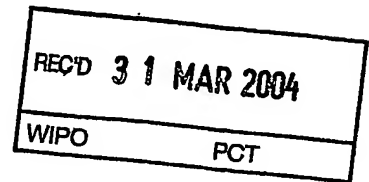


BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 28 055.3

Anmeldetag: 23. Juni 2003

Anmelder/Inhaber: ROBERT BOSCH GMBH, 70469 Stuttgart/DE

Bezeichnung: Zustandsgrößen- und Parameterschätzer mit mehreren Teilmodellen für einen elektrischen Energiespeicher

Priorität: 30. Januar 2003 DE 103 03 506.0

IPC: G 01 R 31/36

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 8. März 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
im Auftrag

Wallner

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH

BEST AVAILABLE COPY

06.06.2003

ROBERT BOSCH GMBH; 70442 Stuttgart

5 Beschreibung

Zustandsgrößen- und Parameterschätzer mit mehreren
Teilmodellen für einen elektrischen Energiespeicher

- 10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen von
Zustandsgrößen und Parametern eines mathematischen
Energiespeichersmodells, insbesondere eines Batteriemodells,
gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1, sowie einen
Zustandsgrößen- und Parameterschätzer gemäß dem Oberbegriff
15 des Patentanspruchs 9.

- In elektrischen Netzen, wie beispielsweise Kfz-Bordnetzen,
werden i.d.R. mehrere elektrische Verbraucher von einem
elektrischen Energiespeicher, wie z.B. einer Batterie mit
20 Leistung versorgt. Zur Durchführung eines Energie- und
Verbrauchermanagements, bei dem Verbraucher je nach Bedarf
automatisch zu- und abgeschaltet werden können, ist die
Kenntnis der Leistungsfähigkeit des Energiespeichers von
wesentlicher Bedeutung. Bei Kenntnis der Leistungsfähigkeit
des Energiespeichers, insbesondere der noch entnehmbaren
Ladung bis zur Unterschreitung einer geforderten
Mindestleistungsfähigkeit z.B. für einen Motorstart, können
noch vor Eintritt einer Unterversorgung verbrauchsmindernde
oder leistungserhöhende Maßnahmen, wie z.B. das Abschalten
30 bestimmter Verbraucher, eingeleitet und somit ein Ausfall der
elektrischen Versorgung verhindert werden.

- Zur Abschätzung der Leistungsfähigkeit des Energiespeichers,
ist es bekannt, mathematische Modelle zu verwenden, welche
35 die elektrischen Eigenschaften des Energiespeichers
beschreiben. Mit Hilfe der mathematischen Modelle kann unter
Berücksichtigung aktueller Betriebsgrößen des

Energiespeichers, wie z.B. einer aktuellen Batteriespannung U_{Batt} , dem aktuellen Batteriestrom I_{Batt} und der aktuellen Batterietemperatur T_{Batt} , die Leistungsfähigkeit des
5 Energiespeichers abgeschätzt werden. Eine aus dem Stand der Technik bekannte Vorrichtung zur Bestimmung der aus einem Energiespeicher entnehmbaren Ladung ist in Fig. 1 dargestellt.

Fig. 1 zeigt eine Vorrichtung zur Bestimmung der aus einem
10 Energiespeicher, insbesondere aus einer Fahrzeugbatterie, bis zu einem vorgegebenen Entladeschlusskriterium entnehmbaren Ladung. Die Vorrichtung umfasst einen Zustandsgrößen- und Parameterschätzer 1, sowie einen Ladungsprädiktor 2, in dem das mathematische Energiespeichermodell hinterlegt ist. Der
15 Zustandsgrößen- und Parameterschätzer 1 dient dazu, aus den aktuellen Betriebsgrößen der Batterie, nämlich der Batteriespannung U_{Batt} , dem Batteriestrom I_{Batt} und der Batterietemperatur T_{Batt} , Zustandsgrößen Z und/oder Parameter P zu berechnen, auf deren Grundlage der Ladungsprädiktor 2
20 die gewünschte Information, wie z.B. die aus der Batterie entnehmbare Ladung Q_e , oder andere Größen, wie beispielsweise die Zeit t_e bis zum Erreichen eines Entladeschlusskriteriums oder den Ladezustand SOC berechnet. Dem Ladungsprädiktor 2 kann ferner ein Entladestromverlauf $I_{\text{Batt,Entl}}$, sowie ein Temperaturverlauf $T_{\text{Batt,Entl}}$ zugeführt werden.

Als Zustandsgrößen Z gelten in dieser Beschreibung insbesondere interne Spannungen U , die sich aus dem jeweiligen Ersatzschaltbild des Energiespeichers bzw. dem
30 zugrundeliegenden mathematischen Modell ergeben. Bei den genannten Parametern handelt es sich um konstante Werte, wie z.B. Widerstände R und Kapazitäten C im Ersatzschaltbild bzw. mathematischen Energiespeichermodell.

35 Die vom Ladungsprädiktor 2 durchgeführte Ladungsberechnung erfolgt ausgehend vom aktuellen Zustand des Energiespeichers. Die im Ladungsprädiktor 2 hinterlegten mathematischen Modelle

werden daher zunächst auf den aktuellen Betriebszustand des Energiespeichers initialisiert. Hierzu liefert der Zustandsgrößen- und Parameterschätzer 1 die entsprechenden Anfangswerte. Als Zustandsgrößen- und Parameterschätzer kann
 5 beispielsweise ein bekanntes Kalman-Filter verwendet werden. Ausgehend vom Initialisierungszustand kann der Ladungsprädiktor 2 z.B. die aus dem Energiespeicher entnehmbare Ladung Q_e für einen vorgegebenen Entladestrom und ein aktuelle Batterietemperatur berechnen.

10 Fig. 2 zeigt ein Beispiel eines Ersatzschaltbildes für den Entladebetrieb eines Bleiakkumulators ($I_{Batt} < 0A$, $U_{Dp} < 0V$, $U_{Dn} < 0V$). Die einzelnen Ersatzschaltbildgrößen sind dabei wie folgt, von links nach rechts:

15	$R(U_{Co}, U_e, T_{Batt})$	Ohmscher Innenwiderstand, abhängig von der Ruhespannung U_{Co} , der Elektrolytspannung U_e und der Säuretemperatur T_{Batt}
	U_{Ri}	ohmscher Spannungsabfall
20	C_o	Säurekapazität
	U_{Co}	Ruhespannung
	$R_k(U_{Co}, T_{Batt})$	Säurediffusionswiderstand, abhängig von der Ruhespannung U_{Co} (Entladegrad) und der Säuretemperatur T_{Batt}
	τ_{auk}	$= R_k * C_k$ (Zeitkonstante der Säurediffusion) wird als konstant in der Größenordnung von 10min angenommen
	U_k	Konzentrationspolarisation
	U_e	$= U_{Co} + U_k$ (Elektrolytspannung)
30	$U_D(I_{Batt}, T_{Batt})$	Stationäre Durchtrittspolarisation an der positiven Elektrode der Batterie (U_{Dp}) und der negativen Elektrode (U_{Dn}), abhängig vom Batteriestrom I_{Batt} und der Säuretemperatur T_{Batt}
35	U_{Batt}	Klemmenspannung der Batterie

Die einzelnen Ersatzschaltbildgrößen sind zurückzuführen auf verschiedene physikalische Effekte der Batterie, die dem Fachmann aus der einschlägigen Literatur bekannt sind.

- 5 Für den ohmschen Innenwiderstand R_i kann beispielsweise folgende Beziehung angesetzt werden:

$$R_i(U_{c0}, U_e, T_{Batt}) = R_{i0}(T_{Batt}) * (1 + R_{i,fakt} * (U_{c0max} - U_{c0}) / (U_e - U_{e,grenz})),$$

10

$$R_{i0}(T_{Batt}) = R_{i025} / (1 + TK_{Lfakt}) * (T_{Batt} - 25^\circ C)$$

dabei sind:

- | | | |
|----|---------------|---|
| 15 | R_{i025} | ohmscher Innenwiderstand bei Vollladung und $T_{Batt} = 25^\circ C$ |
| | TK_{Lfakt} | Temperaturkoeffizient des Batterieleitwerts |
| | $R_{i,fakt}$ | Kennfeldparameter |
| | U_{c0max} | maximale Ruhespannung der vollgeladenen Batterie |
| 20 | $U_{e,grenz}$ | Elektrolytspannung bei Entladeschluss
(alterungsabhängig) |

Für andere Ersatzschaltbildgrößen (z.B. U_D , U_k) umfasst der Ladungsprädiktor 2 entsprechend andere geeignete mathematische Ansätze. Das mathematische Modell des Energiespeichers umfasst wenigstens für den Innenwiderstand R_i , den Säurediffusionswiderstand R_k und eine Durchtrittspolarisation U_D mathematische Ansätze.

- 30 Die Zustandsgrößen liefern die Information über den Energieinhalt der Energiespeicher eines Systems. Sie entsprechen im Ersatzschaltbild den Spannungen an den Kapazitäten, also U_{c0} und U_k . Zur modellbasierten Bestimmung der Leistungsfähigkeit des Energiespeichers müssen außer den
- 35 Zustandsgrößen auch die Modell-Parameter bekannt sein. Insbesondere müssen stark alterungsveränderliche Parameter

wie die Parameter R_{1025} und $U_{e, \text{grenz}}$ der Kennlinie des ohmschen Innenwiderstands adaptiert werden.

Die vom Zustandsgrößen- und Parameterschätzer 1 ermittelten
5 Zustandsgrößen Z und Parameter P können beispielsweise zur Bestimmung des Ladungszustands der Batterie, einer aktuellen oder zukünftigen Leistungsfähigkeit, sowie z.B. der aus dem Energiespeicher entnehmbaren Ladung genutzt werden.

10 Herkömmliche Prädiktoren (Schätzvorrichtungen), wie z.B. der in Fig. 1 gezeigte Ladungsprädiktor 2, umfassen meist sehr aufwändige Modelle mit vielen Zustandsgrößen und Parametern, die das Verhalten des Energiespeichers über einen großen Arbeitsbereich abdecken. Die Berechnung der Zustandsgrößen
15 und Parameter ist dementsprechend aufwändig und kompliziert. Andere Prädiktoren umfassen dagegen einfache Modelle mit wenigen Zustandsgrößen und Parametern, die das Verhalten des Energiespeichers jedoch nur in bestimmten Arbeitspunkten oder bei bestimmten Frequenzen beschreiben.

20 Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein einfaches und schnelles Verfahren zur Abschätzung von Zustandsgrößen und/oder Parametern für ein mathematisches Energiespeichermodell zu schaffen, das im wesentlichen über den gesamten Arbeitsbereich und Frequenzbereich des Energiespeichers gültig ist.

Gelöst wird diese Aufgabe gemäß der Erfindung durch die in den Patentansprüchen 1 und 9 angegebenen Merkmale. Weitere
30 Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Der wesentliche Gedanke der Erfindung besteht darin, im Zustandsgrößen- und Parameterschätzer mehrere mathematische
35 Teilmodelle zur Abschätzung von Zustandsgrößen und/oder Parametern vorzusehen, die für unterschiedliche Arbeits- und/oder Frequenzbereiche des Energiespeichers gelten. Die

Arbeits- und/oder Frequenzbereiche der einzelnen Teilmodelle können sich dabei überlappen. Insgesamt decken die Teilmodelle im wesentlichen den gesamten Frequenz- und Arbeitsbereich des Energiespeichers ab.

5

Somit ist eine kontinuierliche Schätzung von Zustandsgrößen- und Parametern im gesamten Arbeits- und Frequenzbereich des Energiespeichers möglich. Durch die Nutzung der erfindungsgemäßen Teilmodelle kann die Anzahl der zu

10

schätzenden Zustandsgrößen und Parameter klein gehalten und damit die Gefahr einer mehrdeutigen Schätzung minimiert werden. Ferner ist durch die Aufteilung in Teilmodelle eine effektivere Nutzung der Prozessorleistung möglich: „Langsame“ Teilmodelle mit großen Zeitkonstanten können unabhängig von „schnellen“ Teilmodellen mit kleiner Abtastrate abgearbeitet werden.

15

20

Den Teilmodellen wird vorzugsweise ein Strom (I_{Batt}) oder eine Spannung (U_{Batt}) des Energiespeichers zugeführt, wobei der Strom (I_{Batt}) oder die Spannung (U_{Batt}) durch ein Filter auf den für das jeweilige Teilmodell gültigen Frequenzbereich eingeschränkt wird. Den Teilmodellen können somit Hochpass-, Tiefpass- oder Bandpassfilter vorgeschaltet sein.

30

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird ein Fehler zwischen einer Betriebsgröße (U_{Batt} , I_{Batt}) des Energiespeichers und einer von einem Teilmodell berechneten Betriebsgröße (U_{Batt}^* , I_{Batt}^*) ermittelt und in das jeweilige Teilmodell zurückgekoppelt (Selbstrückkopplung). Durch die Selbstrückkopplung können die zu berechnenden Zustandsgrößen und Parameter an den Ist-Zustand des Energiespeichers angepasst werden.

35

Wahlweise kann der Fehler auch in ein anderes Teilmodell rückgekoppelt werden (Fremdrückkopplung). Durch die Fremdrückkopplung können die Zustandsgrößen und Parameter,

die von mehreren Teilmodellen gleichzeitig berechnet werden, gegeneinander abgeglichen werden.

Die Fehler, die einem Teilmodell durch Selbstrückkopplung
5 oder Fremdrückkopplung zugeführt werden, werden vorzugsweise mit einem Gewichtungsfaktor gewichtet. Auf diese Weise kann die Empfindlichkeit eines Teilmodells gegenüber unterschiedlichen Fehlern eingestellt werden.

10 Zustandsgrößen und/oder Parameter, die von einem Teilmodell geschätzt wurden und auch in einem anderen Teilmodell enthalten sind, werden vorzugsweise auch dem anderen Teilmodell zugeführt. Dort können sie als Startwert, als
Fixwert oder als Korrekturwert für die Schätzung dienen.

15 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist eine Stimulationsvorrichtung vorgesehen, mit der eine den Teilmodellen zugeführte Betriebsgröße (Strom oder Spannung) in einen für das Teilmodell gültigen Arbeits- oder
20 Frequenzbereich gebracht werden kann.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der beigefügten Zeichnungen beispielhaft näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine aus dem Stand der Technik bekannte Vorrichtung zur Berechnung der aus einem Energiespeicher entnehmbaren Ladung.

Fig. 2a ein Ersatzschaltbild für einen Bleiakkumulator
30 während eines Entladevorgangs bei niedrigen Frequenzen;

Fig. 2b ein Ersatzschaltbild für einen Bleiakkumulator bei hohen Frequenzen;

35 Fig. 3a den Aufbau eines Zustandsgrößen- und Parameterschätzers mit mehreren Teilmodellen gemäß einer

ersten Ausführungsform der Erfindung und Figur 3b gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 4 ein Flussdiagramm zur Darstellung der Funktion eines Stimulators; und

Fig. 5 den Aufbau eines Zustandsgrößen- und Parameterschätzers zur Berechnung des Innenwiderstands einer Batterie.

Bezüglich der Erläuterung der Fig. 1 und 2a wird auf die Beschreibungseinleitung verwiesen.

Fig. 3a zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Zustandsgrößen- und Parameterschätzers 1 gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung. Wie zu erkennen ist, umfasst der Zustandsgrößen- und Parameterschätzer 1 mehrere Teilmodelle 4, 5, die jeweils nur in einem bestimmten Frequenz- und/oder Arbeitsbereich (f_1, A_1 bzw. f_2, A_2) gelten und die dadurch sehr einfach gehalten werden können. Die Teilmodelle 4, 5 decken in ihrer Gesamtheit aber den gesamten Frequenz- und Arbeitsbereich des Energiespeichers 3 ab.

Die Frequenzbereiche f_1, f_2, \dots als auch die Arbeitsbereiche A_1, A_2, \dots können sich teilweise überlappen. Die Gesamtheit der Teilmodelle 4, 5 sollte im günstigsten Fall den gesamten, zumindest jedoch einen möglichst großen Arbeits- A und Frequenzbereich f des Energiespeichers abdecken.

Der Arbeitsbereich eines Teilmodells 4, 5 wird durch vorgegebene Bedingungen für den Batteriestrom I_{Batt} , die Batteriespannung U_{Batt} , die Batterietemperatur T_{Batt} , Zustandsgrößen Z und Batterieparameter P definiert.

Einzelne Zustandsgrößen Z und Parameter P können gleichzeitig in mehreren Teilmodellen 4, 5 auftreten und geschätzt werden.

Der in Fig. 1 dargestellte Zustandsgrößen- und Parameterschätzer 1 erhält an seinem Eingang kontinuierlich gemessene Batteriewerte, im vorliegenden Fall den Batteriestrom I_{Batt} (wahlweise kann auch die Batteriespannung U_{Batt} zugeführt werden) und die Batterietemperatur T_{Batt} . Der Batteriestrom I_{Batt} wird durch geeignete Tiefpass-, Hochpass- oder Bandpassfilter 6, 7, 8, 9 jeweils auf den Frequenzbereich f_1 , f_2 eingeschränkt, in dem das jeweilige Teilmodell 4, 5 gültig ist. Ein Teilmodell 4, 5 (z.B. das Teilmodell 4), das z.B. in einem Frequenzbereich f_1 von mehr als 1 kHz gültig ist, hat im vorliegenden Fall einen vorgeschalteten Hochpassfilter 6. Dem Teilmodell 5 kann z.B. ein Tiefpassfilter 7, 9 vorgeschaltet sein. Deckt ein Teilmodell 4, 5 den gesamten Frequenzbereich f ab, können die Eingangsfiler 6, 9 für Strom und Spannung entfallen.

Die Teilmodelle 4, 5 berechnen aus den zugeführten Größen jeweils eine Batterie-Zustandsgröße (I_{Batt}^{\wedge} oder U_{Batt}^{\wedge}). Der entsprechende Istwert (I_{Batt} oder U_{Batt}) wird dem Zustandsgrößen- und Parameterschätzer 1 als Messwert von außen zugeführt. Die Schätzwerte $U_{\text{Batt},1}^{\wedge}$, $U_{\text{Batt},2}^{\wedge}$ bzw. daraus abgeleitete Größen (Fehlersignale) werden in das jeweilige Teilmodell 4, 5 rückgekoppelt.

Der Zustandsgrößen- und Parameterschätzer 1 umfasst Differenzknoten 17, 18, an denen ein Fehler (Differenzsignal) aus der geschätzten Batterie-Zustandsgröße $U_{\text{Batt},1}^{\wedge}$, $U_{\text{Batt},2}^{\wedge}$ und der jeweils gemessenen Batterie-Zustandsgröße $U_{\text{Batt},1}$, $U_{\text{Batt},2}$ gebildet wird. Die ermittelten Fehler ($U_{\text{Batt},1} - U_{\text{Batt},1}^{\wedge}$, $U_{\text{Batt},2} - U_{\text{Batt},2}^{\wedge}$, ...) werden dann jeweils einer Gewichtungseinheit 10, 12 zugeführt und an Addierknoten 14, 15 geleitet.

Bei der Fehlerrückkopplung kann zwischen Selbstrückkopplung und Fremdrückkopplung unterschieden werden. Im ersteren Fall wird der Schätzfehler eines Teilmodells (4) dem selben Teilmodell (4) zugeführt, im anderen Fall wird der Schätzfehler eines Teilmodells (4) einem anderen Teilmodell

(5) zugeführt. An den Addierknoten 14, 15 wird aus den einzelnen (gewichteten) Schätzfehlern ein Gesamtfehler erzeugt und dem jeweiligen Teilmodell 4,5 zugeführt.

5. Eine Fremddruckkopplung wird vorzugsweise nur dann realisiert, wenn bestimmte Zustandsgrößen Z oder Parameter P parallel in mehreren Teilmodellen auftreten. In diesem Fall können die Zustandsgrößen Z und Parameter P mit den anderen Teilmodellen abgeglichen werden.

10

Für eine Zustandsgröße $Z_{1,j}$ im j-ten Teilmodell, die außerdem in den Teilmodellen $i = j+1, \dots, j+n$ vorkommt, ergibt sich folgende Differenzengleichung:

$$15 \quad Z_{1,j,k+1} = f(Z_{j,k}, P_{j,k}, I_{Batt,j,k}, T_{Batt,k}) + \sum_{i=j..n} k_{z1,i,j} * (U_{Batt,i,k} - U_{Batt,i,k}^{\wedge})$$

Dabei ist $f(Z_{j,k}, P_{j,k}, I_{Batt,j,k}, T_{Batt,k})$ die rechte Seite einer Zustandsdifferenzengleichung für die Zustandsgröße $Z_{1,j}$ des j-ten Teilmodells mit den Eingangsgrößen: Gefilterter Batteriestrom $I_{Batt,j,k}$ und Batterietemperatur $T_{Batt,k}$ sowie dem Parametervektor $P_{j,k}$ im k-ten Zeitschritt.

20

Für einen konstanten Parameter $P_{1,j}$ im j-ten Teilmodell, der außerdem in den Teilmodellen $i = j+1, \dots, j+n$ vorkommt, ergibt sich:

$$P_{1,j,k+1} = P_{1,j,k} + \sum_{i=j..n} k_{p1,i,j} * (U_{Batt,i,k} - U_{Batt,i,k}^{\wedge})$$

- 30 Die Verstärkungen $k_{i,j}$ der Gewichtungseinheiten 10-13 können bei einem Teilmodell 4, 5 entsprechend einem Luneberger-Beobachter durch Polvorgabe und bei Verwendung eines Kalman-Filters für die Teilmodelle 4, 5 durch Minimierung eines Gütekriteriums, wie z.B. der minimalen Schätzfehlervarianz, ermittelt werden.

35

Wenn sich der aktuelle Arbeitsbereich und/oder Frequenzbereich außerhalb des gültigen Arbeits- und/oder Frequenzbereichs eines Teilmodells 4, 5 befindet, darf keine Fehlerrückkopplung von einem solchen Teilmodell (z.B.

5 Teilmodell 5) zu einem anderen Teilmodell erfolgen. Daher werden in einem solchen Fall vorzugsweise die Gewichtungsfaktoren $k_{i,j}$ der entsprechenden Gewichtungseinheiten (z.B. Gewichtungseinheit 11) auf Null gesetzt. Das heißt, $k_{i,j} = 0$, falls der Arbeitsbereich des i-ten Teilmodells verlassen wird.

Bei der in Fig. 3a dargestellten Anordnung wird dem Zustandsgrößen- und Parameterschätzer 1 der Batteriestrom I_{Batt} zugeführt. Gemäß einer anderen Ausführungsform nach Fig. 15 3b kann den Teilmodellen 4, 5 auch eine (gefilterte) Batteriespannung U_{Batt} als Eingangsgröße zugeführt werden. Die Teilmodelle 4, 5 würden in diesem Fall einen Batteriestrom I_{Batt} abschätzen. Der Abgleich der Teilmodelle erfolgt über die Batteriespannung $U_{\text{Batt},1}, U_{\text{Batt},2}, \dots$, über die 20 Batterieströme $I_{\text{Batt},1}, I_{\text{Batt},2}, \dots$, wenn die Batteriespannung als Eingangsgröße und der Batteriestrom als Ausgangsgröße der Teilmodelle definiert wird.

Zustandsgrößen und/oder Parameter, die von einem Teilmodell (4) geschätzt wurden und auch in einem anderen Teilmodell (5) enthalten sind, werden vorzugsweise auch dem anderen Teilmodell (5) zugeführt. Hierzu sind Verbindungsleitungen 30,31 vorgesehen. Im anderen Teilmodell (5) können die Werte als Startwert, als Fixwert oder als Korrekturwert für die 30 Schätzung dienen.

Die Teilmodelle 4, 5 liefern neben den Zustandsgrößen Z und Parametern P auch die Fehlervarianzen ($\text{var}_1, \text{var}_2, \dots$) der Größen. Damit kann z.B. beurteilt werden, ob die Genauigkeit 35 der Schätzgrößen Z, P für nachfolgende Berechnungen des Ladezustands, der Leistungsfähigkeit und/oder der aus der Batterie entnehmbaren Ladung ausreicht.

In einer weiteren Variante findet der Abgleich der Teilmodelle zusätzlich über die Batteriespannungen $U_{\text{Batt},1}$, $U_{\text{Batt},2}, \dots$, statt, d.h. die Struktur nach Figur 3a oder 3b

5 wird gleichzeitig zweimal benutzt, einmal mit nach der Batteriespannung und einmal mit nach dem Batteriestrom aufgelösten Teilmodellen. Die gleichzeitig geschätzten Zustandsgrößen und Parameter aus den einzelnen Teilmodellen der beiden Strukturen können dann z.B. gewichtet mit ihrer Fehlervarianz zu einer Schätzgröße verknüpft werden,
10 entsprechend der bereits beschriebenen Weise zur Verknüpfung der in verschiedenen Teilmodellen parallel geschätzten Größen.

Zur optimalen Ausnutzung sämtlicher Teilmodelle 4, 5 sollten
15 die Betriebsgrößen der Batterie 3 im Laufe der Berechnung sämtliche Arbeits- und Frequenzbereiche der Teilmodelle 4, 5 durchlaufen. Liefert das elektrische Netz, an dem die Batterie 3 angeschlossen ist, zu wenig Anregungen (z.B. Lastschwankungen), können die Größen nicht genau genug
20 geschätzt werden. Sind die Anregungen im Netz gering, kann z.B. der Innenwiderstand R_i der Batterie 3 nur sehr ungenau geschätzt werden. Bei geringer Anregung über einen längeren Zeitraum können insbesondere bei sicherheitskritischen Anwendungen Probleme auftreten, da keine genaue Aussage über die Leistungsfähigkeit der Batterie getroffen werden kann.

Der Zustandsgrößen- und Parameterschätzer 1 umfasst daher einen Stimulator 16, der in der Lage ist, aktiv in das elektrische Netz einzugreifen und den Arbeits- und/oder
30 Frequenzbereich der Batterie 3 bzw. des Netzes in gewünschter Weise einzustellen. Der Stimulator 16 greift aktiv in das elektrische Netz ein, wenn die Fehlervarianz var vorgegebener Zustandsgrößen Z oder Parameter P für eine vorgegebene Zeitdauer zu groß ist. Dem Stimulator 16 werden die von den
35 einzelnen Teilmodellen 4, 5 berechneten Varianzen var als Eingangsgrößen zugeführt.

Der Eingriff in das elektrische Netz durch den Stimulator 16 erfolgt z.B. durch Vorgabe einer neuen Generator-Sollspannung $U_{\text{Gen,soll}}$ (bei einem Fahrzeuggenerator), einer Load-Response-Zeitkonstanten τ_{Gen} eines Generatorreglers und/oder durch
 5 geeignete Verbraucher-Zu- oder Abschaltung. Hierdurch kann ein für die Schätzung der jeweiligen Zustandsgröße Z oder des jeweiligen Parameters P geeigneter Batteriestromverlauf I_{Batt} , Spannungsverlauf U_{Batt} und/oder Frequenzverlauf eingeprägt werden. Idealerweise wird der gewünschte Batteriestromverlauf
 10 I_{Batt} (oder ein Spannungsverlauf U_{Batt}) so vorgegeben, dass er die Batterie 3 in einen Arbeitsbereich A überführt und in einem Frequenzbereich f anregt, in dem eines der Teilmodelle (z.B. Teilmodell 5) das die Schätzgröße enthält, besonders genau ist und somit die Schätzgröße sehr genau bestimmt
 15 werden kann. Dabei müssen natürlich der Abstand dieses neuen Arbeitsbereichs zum aktuellen Arbeitsbereich A der Batterie 3 und die maximal zulässigen Amplituden der Steuergrößen $U_{\text{Gen,soll}}$, τ_{Gen} , I_{Last} sowie die maximal erlaubte Dauer des Steuereingriffs berücksichtigt werden.

20

Die Arbeitsweise des Stimulators 16 von Fig. 1 ist beispielhaft in Fig. 4 dargestellt. Das Verfahren beginnt in Schritt 20 mit der Initialisierung der Zeiten t_p und t_{stim} auf die Werte $t_p = 0$, $t_{\text{stim}} = 0$. Dabei bezeichnet t_p eine Zeit, in der ein Parameter P überwacht wird, und t_{stim} eine Stimulationszeit.

In Schritt 22 wird überprüft, ob die Fehlervarianz var_p größer ist als eine maximale Fehlervarianz $\text{var}_{p,\text{max}}$. Falls
 30 Nein (N) bleibt der Stimulator 16 deaktiviert. Bleibt die Fehlervarianz var_p für eine Zeitdauer t_p größer $t_{p,\text{max}}$ (Schritt 23) dagegen größer als $\text{var}_{p,\text{max}}$, wird ein dem Parameter P zugeordneter Stromverlauf $I_{\text{Batt,soll},p}$ eingeprägt (Schritt 24 und 26). Dies erfolgt so lange, bis die Varianz var_p des
 35 Parameters P kleiner oder gleich der maximalen Varianz $\text{var}_{p,\text{max}}$ dieses Parameters P ist oder die Stimulationsdauer t_{stim} größer ist als eine vorgegebene maximale Dauer $t_{\text{stim,max}}$.

(Überprüfung in Schritt 27). Die Variable t_{stim} für die Stimulationsdauer wird in Schritt 25 iterativ um jeweils eine Abtastperiode T_{Ab} erhöht.

- 5 Fig. 5 zeigt eine spezielle Ausgestaltung eines Zustandsgrößen- und Parameterschätzers 1 zur Bestimmung des ohmschen Innenwiderstandes R_i eines Bleiakкумуляtors 3. Der Innenwiderstand R_i der Batterie 3 ist eine entscheidende Größe bei der Bestimmung eines Batteriezustands, wie z.B. der
10 Leistungsfähigkeit der Batterie 3 oder der noch entnehmbaren Ladung.

- Der Zustandsgrößen- und Parameterschätzer 1 umfasst zwei mathematische Teilmodelle 4, 5, von denen das erste
15 Gültigkeit im gesamten Frequenzbereich hat und das zweite Teilmodell 5 nur bei Frequenzen größer gleich 1 kHz gültig ist. Entsprechend ist dem ersten Teilmodell 4 kein Filter und dem zweiten Teilmodell 5 ein Hochpassfilter 7 vorgeschaltet.

- 20 Das erste Teilmodell 4 umfasst eine mathematische Modellbeschreibung des Ersatzschaltbildes von Fig. 2a. Dagegen umfasst das zweite Teilmodell 5 eine mathematische Beschreibung des Ersatzschaltbildes von Fig. 2b, das im wesentlichen nur aus dem Innenwiderstand R_i der Batterie 3 besteht. Beschränkt man sich nämlich auf einen Frequenzbereich in der Größenordnung von 1 kHz und betrachtet nur hochfrequente Wechselanteile von Strom I_{Batt} und Spannung U_{Batt} , so können die Kapazitäten des Ersatzschaltbildes von Fig. 2a als kurzgeschlossen betrachtet werden. Die einzig
30 verbleibende Komponente ist in diesem Fall der Innenwiderstand R_i der Batterie.

- Das erste Teilmodell 4 hat im folgenden Fall nur Gültigkeit für den Entladebetrieb, da sich der Innenwiderstand R_i der
35 Batterie 3 im Ladebetrieb nur schwer aus den wenigen Messgrößen Strom I_{Batt} , Spannung U_{Batt} und Temperatur T_{Batt} abschätzen lässt.

Für das erste Teilmodell 4, dem die Schätzfehler $U_{\text{Batt}} - U_{\text{Batt}}^{\wedge}$ bzw. $U_{\text{Batts}} - U_{\text{Batts}}^{\wedge}$ zugeführt werden, gilt:

$$5 \quad R_{i,k+1} = R_{i,k} + k_{11} (U_{\text{Batt}} - U_{\text{Batt}}^{\wedge}) + k_{21} (U_{\text{Batt}} - U_{\text{Batt}}^{\wedge})$$

Für das zweite Teilmodell 5 gilt:

$$R_{i,k+1} = R_{i,k}$$

10

Der vom ersten Teilmodell 4 berechnete Wert für den Innenwiderstand R_i der Batterie 3 wird dem zweiten Teilmodell 5 zugeführt und kann dort z.B. als Startwert verwendet werden. Die Gewichtungseinheiten für das zweite Teilmodell 5 mit den Gewichtungsfaktoren k_{22} und k_{12} können in diesem Fall entfallen. Die Gewichtungseinheiten 10,11 für die Fehlerrückkopplung in das Teilmodell 4 bleiben dagegen bestehen.

15

20 Es ist zu beachten, dass im Ladebetrieb der Gewichtungsfaktor k_{11} auf Null zu setzen ist, da das erste Teilmodell 4 im Ladebetrieb nicht gültig ist. Die Gewichtungsfaktoren k_{11} und k_{21} können z.B. über einen Beobachterentwurf nach Luenberger oder Kalman bestimmt werden.

06.06.2003

ROBERT BOSCH GMBH; 70442 Stuttgart

5 Bezugszeichenliste

	1	Zustandsgrößen- und Parameterschätzer
	2	Ladungsprädiktor
	3	Batterie
10	4	erstes Teilmodell
	5	zweites Teilmodell
	6-9	Filter
	10-13	Gewichtungseinheiten
	14,15	Addierknoten
15	16	Stimulator
	17,18	Addierknoten
	20-27	Verfahrensschritte
	30,31	Verbindungsleitungen

06.06.2003

ROBERT BOSCH GMBH; 70442 Stuttgart

5 Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen von Zustandsgrößen und Parametern eines mathematischen Energiespeichermodells, insbesondere eines Batteriemodells, mit Hilfe eines Zustandsgrößen- und Parameterschätzers (1), der aus Betriebsgrößen (U_{Batt} , I_{Batt} , T_{Batt}) eines Energiespeichers (3) die Zustandsgrößen (Z) und Parameter (P) des mathematischen Energiespeichermodells berechnet, dadurch gekennzeichnet, dass der Zustandsgrößen- und Parameterschätzer (1) mehrere mathematische Teilmodelle (4, 5) umfasst, die für unterschiedliche Arbeits- und/oder Frequenzbereiche des Energiespeichers (3) gelten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass den Teilmodellen (4, 5) ein Strom (I_{Batt}) oder eine Spannung (U_{Batt}) des Energiespeichers (3) zugeführt wird, wobei der Strom (I_{Batt}) oder die Spannung (U_{Batt}) durch ein Filter (6, 7) auf den für ein Teilmodell (4, 5) gültigen Frequenzbereich eingeschränkt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Fehler zwischen einer Betriebsgröße (U_{Batt} , I_{Batt}) des Energiespeichers und einer von einem Teilmodell (4, 5) berechneten Betriebsgröße (U_{Batt}^{\wedge} , I_{Batt}^{\wedge}) ermittelt und in das jeweilige Teilmodell (4, 5) zurückgekoppelt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Fehler zwischen einer Betriebsgröße (U_{Batt} , I_{Batt}) des Energiespeichers (3) und der von einem Teilmodell (4, 5) berechneten Betriebsgröße (U_{Batt}^{\wedge} , I_{Batt}^{\wedge}) in ein anderes Teilmodell (5) zurückgekoppelt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Fehler mittels eines Faktors (k) gewichtet wird.
- 5 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine von einem Teilmodell (4, 5) berechnete Zustandsgröße (Z) und/oder ein berechneter Parameter (P) einem anderen Teilmodell (5) zugeführt wird.
- 10 7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Zustandsgrößen (Z) oder Parameter (P) gewichtet rückgekoppelt werden.
- 15 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Stimulator (16) vorgesehen ist, um den Strom (I_{Batt}) oder die Spannung (U_{Batt}), der bzw. die den Teilmodellen (4, 5) zugeführt wird, in einen gewünschten Arbeitsbereich oder Frequenzbereich zu bringen.
- 20 9. Zustandsgrößen- und Parameterschätzer (1) zum Bestimmen von Zustandsgrößen (Z) und Parametern (P) eines mathematischen Energiespeichermodells, insbesondere eines Batteriemodells, der aus Betriebsgrößen (U_{Batt} , I_{Batt} , T_{Batt}) eines Energiespeichers (3) die Zustandsgrößen (Z) und Parameter (P) des mathematischen Energiespeichermodells berechnet, dadurch gekennzeichnet, dass der Zustandsgrößen- und Parameterschätzer (1) mehrere Teilmodelle (4, 5) umfasst, die für unterschiedliche Arbeits- und/oder Frequenzbereiche des Energiespeichers (3) gelten.
- 30 10. Zustandsgrößen- und Parameterschätzer (1) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens einem der Teilmodelle (4, 5) ein Filter (6, 7) vorgeschaltet ist, um die dem Teilmodell (4, 5) zugeführte Betriebsgröße (U_{Batt} , I_{Batt}) des Energiespeichers (3) auf den für das Teilmodell (4, 5) gültigen Frequenzbereich einzuschränken.
- 35

11. Zustandsgrößen- und Parameterschätzer (1) nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Betriebsgrößen- und Parameterschätzer (1) derart gestaltet ist, dass ein Fehler zwischen einer Betriebsgröße (U_{Batt} , I_{Batt}) des

5 Energiespeichers (3) und einer von einem Teilmodell (4, 5) berechneten Betriebsgröße (U_{Batt}^{\wedge} , I_{Batt}^{\wedge}) ermittelt und in das jeweilige Teilmodell (4, 5) zurückgekoppelt wird.

12. Zustandsgrößen- und Parameterschätzer (1) nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Betriebsgrößen- und Parameterschätzer (1) derart gestaltet ist, dass ein Fehler zwischen einer Betriebsgröße (U_{Batt} , I_{Batt}) des Energiespeichers (3) und einer von einem Teilmodell

(4, 5) berechneten Betriebsgröße (U_{Batt}^{\wedge} , I_{Batt}^{\wedge}) in ein anderes

15 Teilmodell (5) zurückgekoppelt wird.

13. Zustandsgrößen- und Parameterschätzer nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass eine Einrichtung (10 - 13) zum Gewichten des rückgekoppelten

20 Fehlers vorgesehen ist.

14. Zustandsgrößen- und Parameterschätzer (1) nach einem der Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass ein Stimulator (16) vorgesehen ist, um den Strom- oder Spannungsverlauf (I_{Batt} , U_{Batt}), der den Teilmodellen (4, 5) zugeführt wird, in einen gewünschten Arbeits- oder Frequenzbereich zu bringen.

06.06.2003

ROBERT BOSCH GMBH; 70442 Stuttgart

5 Zusammenfassung

Zustandsgrößen- und Parameterschätzer mit mehreren
Teilmodellen für einen elektrischen Energiespeicher

- 10 Die Erfindung betrifft einen Zustandsgrößen- und
Parameterschätzer (1) zum Bestimmen von Zustandsgrößen und
Parametern eines mathematischen Energiespeichermodells,
insbesondere eines Batteriemodells, der aus Betriebsgrößen
(U_{Batt} , I_{Batt} , T_{Batt}) eines Energiespeichers (3) die
15 Zustandsgrößen (Z) und Parameter (P) des mathematischen
Energiespeichermodells berechnet. Eine besonders einfache
Abschätzung der Zustandsgrößen und Parameter kann
durchgeführt werden, wenn der Zustandsgrößen- und
Parameterschätzer (1) mehrere mathematische Teilmodelle (4,
20 5) umfasst, die für unterschiedliche Arbeits- und/oder
Frequenzbereiche des Energiespeichers (3) gelten.

Figur 3a

1/5

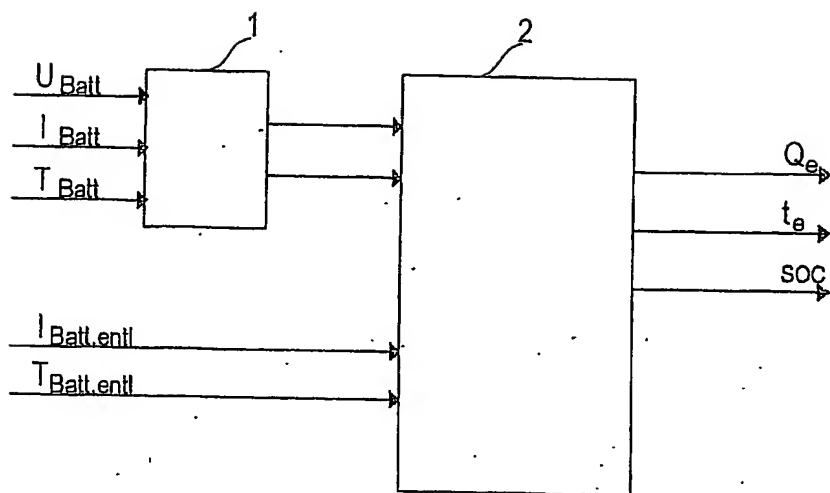


Fig. 1

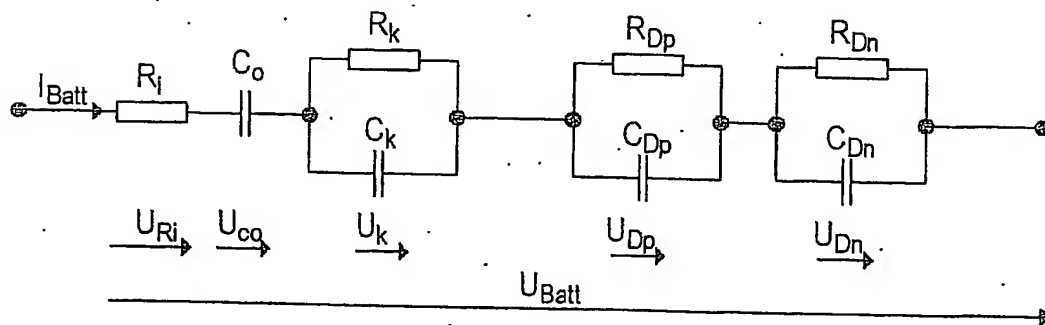


Fig. 2a

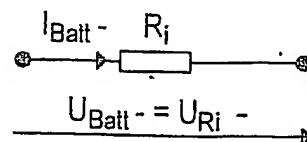


Fig. 2b

2 / 5

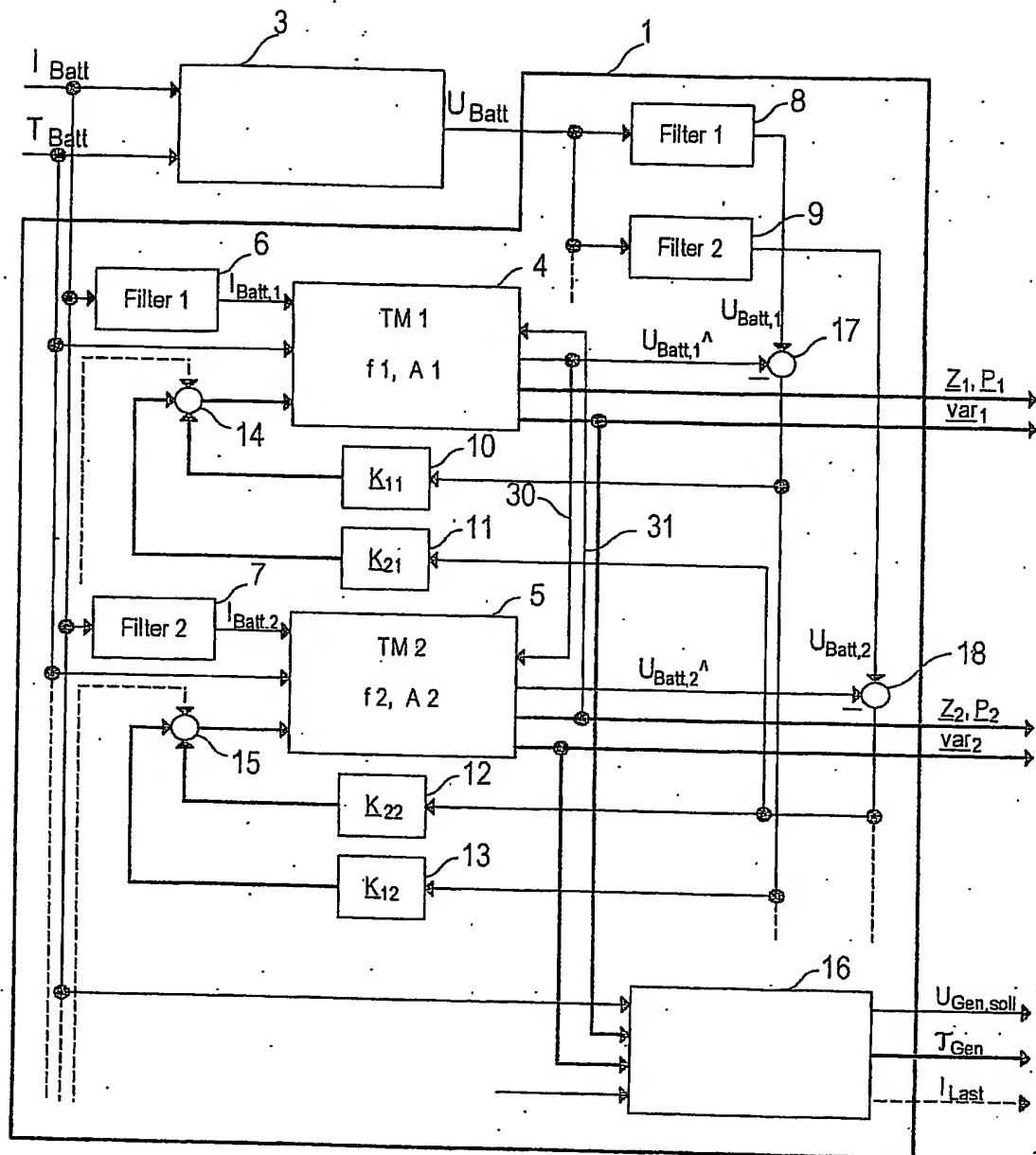


Fig. 3a

3/5

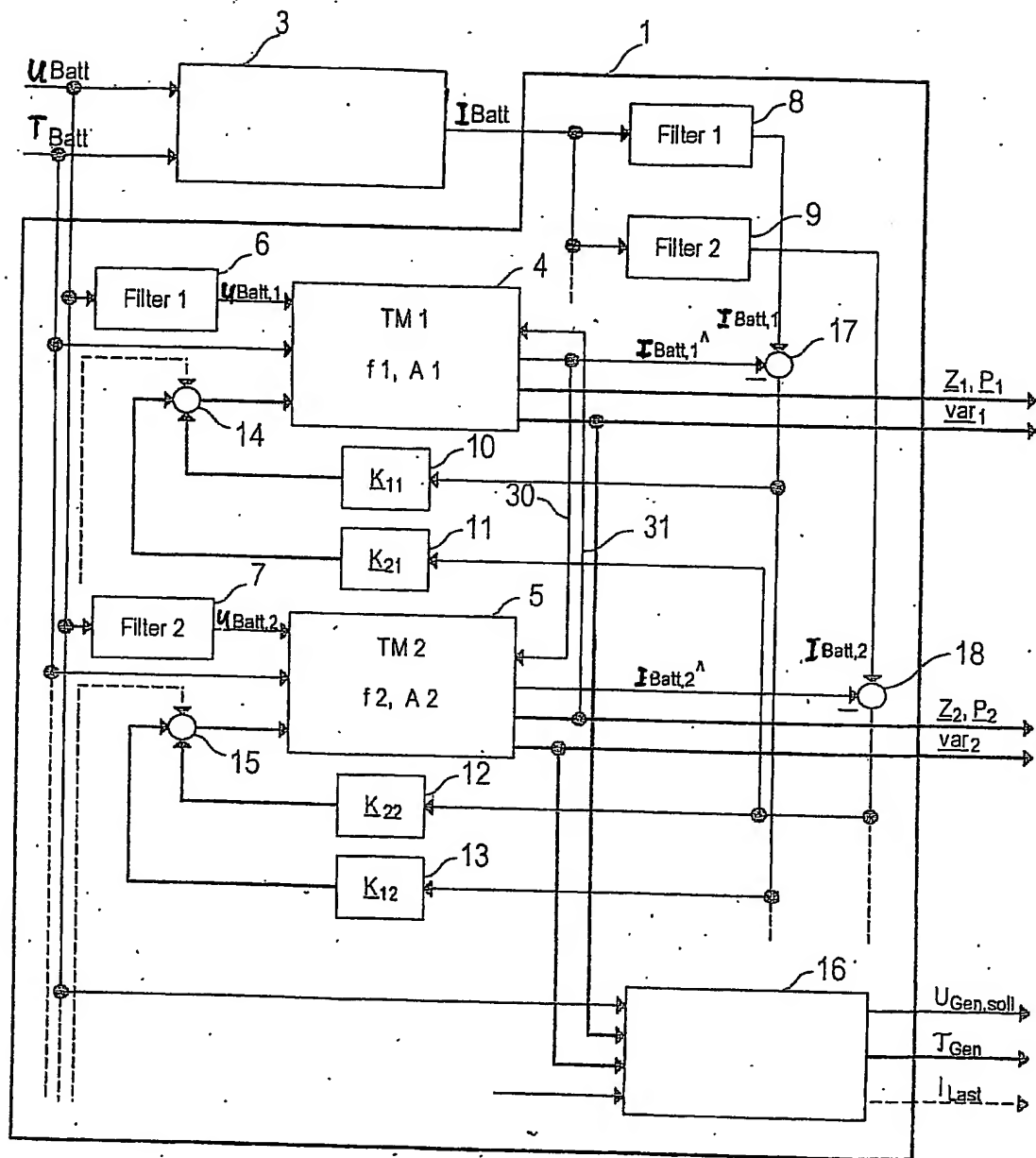


Fig. 3b

415

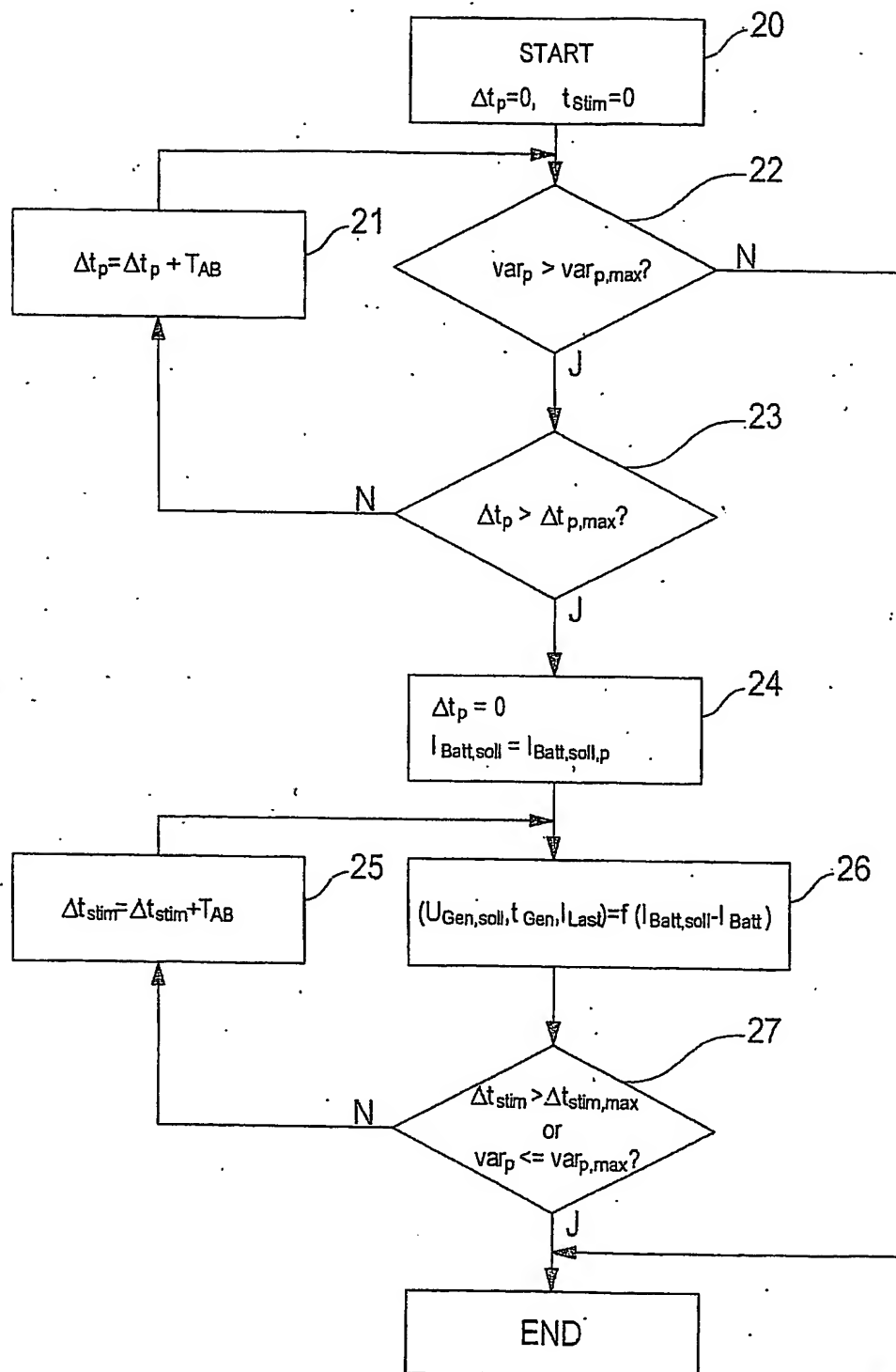


Fig. 4

5 / 5

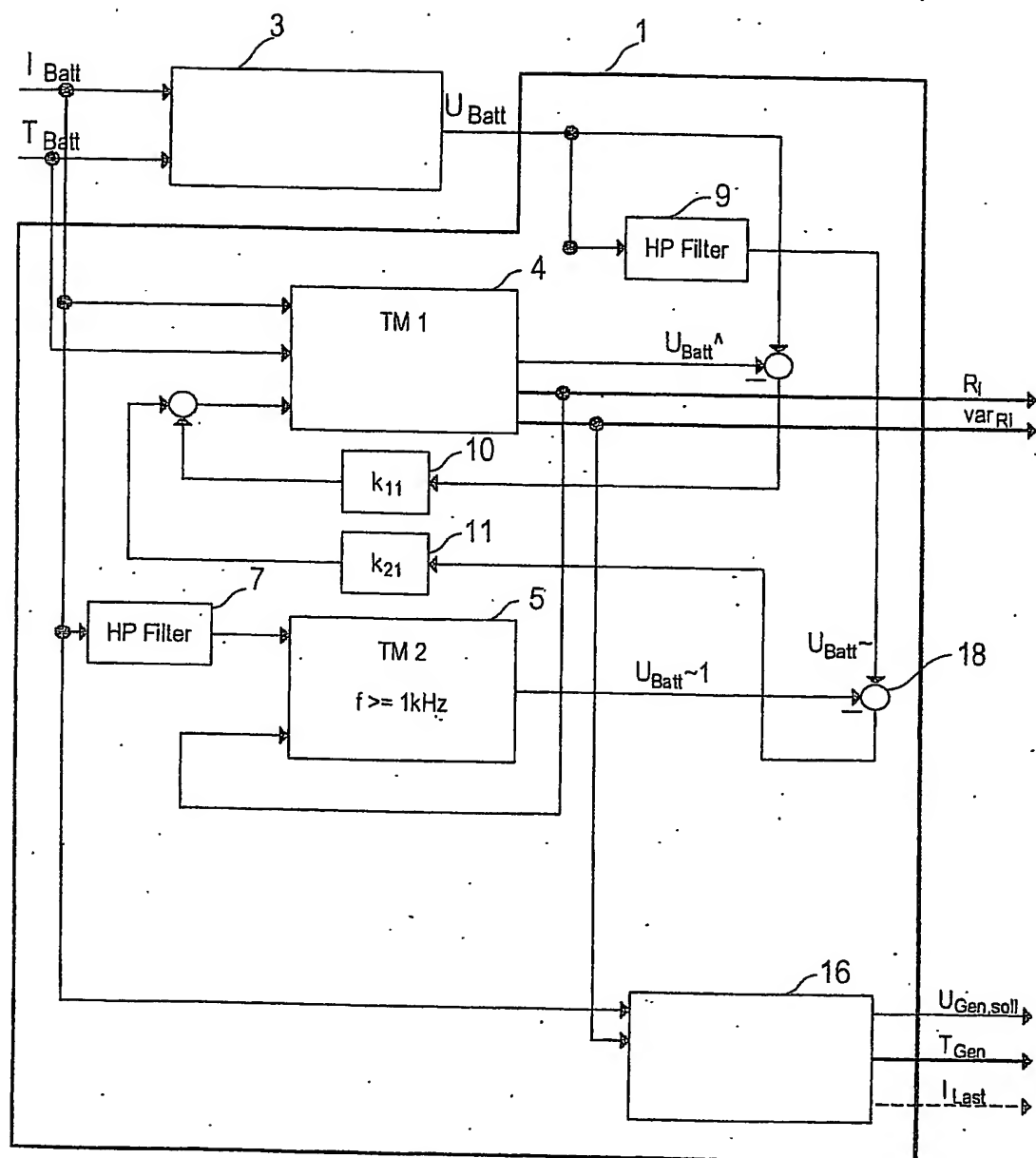


Fig. 5

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.